

안구 길이와 전방 깊이에 따른 Haigis 공식의 정확성

이찬희 · 최성호 · 정의상 · 정태영

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 안과학교실

목적: 안구 길이와 전방 깊이에 따른 Haigis 공식의 정확성을 알아보고자 한다.

대상과 방법: 백내장수술을 받은 137안을 대상으로 술 전 IOL Master[®]를 이용하여 안구 길이 및 전방 깊이를 측정하였고, 인공수정체 도수계산공식으로 Haigis, SRK/T, Hoffer Q, Holladay 1 공식을 이용하였다. 전방 깊이는 Pentacam을 이용하여서도 측정하였다. 환자 군을 안구 길이 및 전방 깊이에 따라 각각 3군으로 나눈 뒤 수술 한달 후 평균 실제오차와 평균 절대오차를 알아보았다.

결과: 안구 길이에 따른 3군에서 공식들 사이의 굴절 오차에 유의한 차이가 없었다. 전방 깊이가 얇은 군에서 공식들 사이의 평균 절대 오차에 유의한 차이가 있었으며 Haigis 공식의 평균 실제오차가 술 후 원시 편위를 보였고, IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이가 Pentacam으로 측정한 전방 깊이보다 유의하게 작았다. 전방 깊이에 따른 나머지 군에서는 공식들 사이의 굴절 오차 및 측정기구에 따른 전방 깊이의 차이가 없었다.

결론: Haigis 공식의 정확성은 다른 공식들보다 전방 깊이에 영향을 받으므로, 정확한 전방 깊이 측정이 필요하며, 전방 깊이에 따른 굴절 오차의 경향을 고려하여 인공수정체 도수 결정이 필요하다.

〈대한안과학회지 2011;52(2):175-181〉

작은 절개창을 통한 무봉합 수술 등의 백내장수술기법의 향상과 다초점 인공수정체 및 난시교정 인공수정체의 개발은 술 후 환자들의 시력의 질에 대한 기대를 높이고 있다. 따라서 정확한 인공수정체의 도수계산이 필요하고, 이를 위해서는 정확한 생체계측(안구 길이, 각막 곡률, 전방 깊이)과 인공수정체 도수계산공식이 필요하다.¹

부분결합간섭(Partial coherence interferometer)의 원리가 도입되기 전에는 초음파 방식으로 생체계측을 측정하는 것이 정확하다고 알려졌으나, 1999년 부분결합간섭의 원리에 기초한 IOL Master[®] (Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA)의 도입으로, 기존의 초음파 방식보다 더 빠르게 생체계측을 시행할 수 있고 결과의 재현성 및 정확성이 우수한 것으로 보고되었다.²⁻⁵

IOL Master[®]를 이용하여 생체계측의 정확성은 향상되었지만, 인공수정체 도수계산공식 또한 술 후 굴절력에 큰 영향을 미치므로 정확한 공식이 필요하다. 3세대 공식인

SRK/T 공식, Hoffer Q 공식, Holladay 1 공식, Haigis 공식은 술 후 인공수정체의 위치에 대해 고려하고 있다. SRK/T 공식, Hoffer Q 공식, Holladay 1 공식은 안구 길이와 각막 곡률에 따라 술 전 전방 깊이를 예측하여 술 후 인공수정체의 위치를 예측하는 반면에, Haigis 공식은 IOL Master[®]로 술 전 전방 깊이를 실제로 측정한 값을 사용하여 술 후 인공수정체의 위치를 예측하여 다른 3세대 인공수정체 도수계산공식보다 술 전 측정한 전방 깊이에 더 영향을 받게 된다.⁶ 따라서 Haigis 공식을 이용하여 술 후 인공수정체의 굴절력을 정확하게 예측하기 위해서는 술 전 정확한 전방 깊이의 측정이 무엇보다 중요하며, 전방 깊이 측정에 오류가 있을 경우 굴절력의 예측에 오류가 생길 수 있다.

이전의 Haigis 공식에 대한 연구들은 안구 길이에 따른 공식의 정확성을 알아보았을 뿐, 전방 깊이에 따른 Haigis 공식의 정확성 및 전방 깊이의 측정 오류가 공식의 정확성에 미치는 영향을 알아본 연구는 없었다. 이에 저자들은 백내장 환자들을 안구 길이 및 전방 깊이에 따라 각각 3군으로, 총 6군으로 나눈 뒤 백내장수술 한 달 후 굴절 오차를 측정하여, 안구 길이 및 전방 깊이에 따른 Haigis 공식의 정확성을 다른 3세대 인공수정체 도수계산공식과 비교하여 알아보았고, 두 가지의 측정기구를 이용하여 전방 깊이를 측정하여 전방 깊이 측정에 오류가 있었는지를 알아보았다.

■ 접수 일: 2010년 5월 4일 ■ 심사통과일: 2010년 9월 20일
■ 게재허가일: 2010년 11월 25일

■ 책임저자: 정 태 영

서울시 강남구 일원동 50
성균관대학교 삼성서울병원 안과
Tel: 02-3410-3563, Fax: 02-3410-0074
E-mail: tychung@skku.edu

* 본 논문의 요지는 2010년 대한안과학회 제101회 학술대회에서 포스터로 발표되었음.

대상과 방법

2009년 7월부터 2009년 12월까지 본원 안과에서 두 명의 술자에 의해 초음파유화술 및 후방 인공수정체삽입술을 시행받은 환자들 98명 137안을 대상으로 하였다. 수술 중 각막 절개 부위에 봉합을 시행한 경우 및 후낭파열, 유리체 탈출 등의 술 중 합병증이 있는 경우는 제외하였고, IOL Master®의 신호대 잡음비(Signal to noise ratio (SNR))가 2.1보다 작은 경우 및 IOL Master®로 안구 길이 및 전방 깊이를 측정할 수 없는 경우도 제외하였다. 수술 전 IOL Master®를 이용하여 모든 환자들의 안구 길이, 각막 곡률 그리고 전방 깊이를 측정하였다. IOL Master®에 내장되어 있는 SRK/T 공식, Hoffer Q 공식, Holladay 1 공식 및 Haigis 공식을 이용하여 인공수정체 도수를 계산하였으며, 인공수정체의 A상수는 초음파 방식에 특화된 값이 아닌 IOL Master®에 특화된 값을 사용하였다. 수술 전 전방 깊이는 Pentacam (Oculus Pentacam Rotating Scheimpflug Camera; Oculus, Wetzlar, Germany)을 이용하여서도 측정하였다. 전방 깊이는 각막 상피층으로부터 수정체 전면까지의 거리로 정의하였기 때문에, Pentacam의 경우 중심 각막 두께와 중심 각막 내피로부터 수정체 전면까지의 거리의 합을 전방 깊이로 하였다. 수술 1개월 후 모든 환자들을 대상으로 현성 굴절검사를 시행하여 굴절력(spherical equivalent (SE))을 측정하였다.

수술 전 예측 굴절력에서 수술 1개월 후 측정된 실제 굴절력의 차를 실제오차(numeric error)로 간주하고 그 평균

을 평균 실제오차(mean numeric error (MNE))로 정의하였다. 따라서 실제 오차가 양의 값이 나왔을 경우 술 후 근시 편위를 나타낸 것으로 보았고, 음의 값이 나왔을 경우 술 후 원시 편위를 나타낸 것으로 보았다. 실제오차의 절대값을 절대오차(absolute error)로 간주하고 그 평균을 평균 절대오차(mean absolute error (MAE))로 정의하였다. 각 공식들 간의 평균 실제오차와 평균 절대오차를 비교 분석하였다.

IOL Master®를 이용하여 측정한 안구 길이가 22.5 mm 미만인 환자들을 AXL I군으로 하였으며, 안구 길이가 22.5 mm 이상 24.5 mm 미만인 환자들을 AXL II군으로, 안구 길이가 24.5 mm 이상인 환자들을 AXL III군으로 하였다.⁷ IOL Master®를 이용하여 측정한 전방 깊이가 2.5 mm 미만인 환자들을 ACD I군으로 하였고, 전방 깊이가 2.5 mm 이상 3.5 mm 미만인 환자들을 ACD II군으로, 전방 깊이가 3.5 mm 이상인 환자들을 ACD III군으로 하였다.⁸

안구 길이와 전방 깊이에 따라 각각 분류한 군에서 인공수정체 도수계산공식 사이의 평균 실제오차와 평균 절대오차가 유의한 차이를 보이는지 알아보기 위해 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석하였다. 모든 인공수정체 도수계산공식에서 안구 길이에 따라 분류한 3군 사이와 전방 깊이에 따라 분류한 3군 사이에 평균 실제오차와 평균 절대오차가 유의한 차이를 보이는지 알아보기 위해 1-Way ANOVA test를 이용하여 분석하였다. IOL Master®와 Pentacam으로 측정한 전방 깊이가 서로 유의한 차이를 보이는지 알아보기 위해 paired t-test를 이용하였다. 통계학적 분석은

Table 1. Characteristics of each group according to the axial length (AXL)

Group (AXL, mm)	AXL I (< 22.5)	AXL II (≥ 22.5, < 24.5)	AXL III (24.5 ≤)	Total	p-value
Eyes	19	90	28	137	
Age (yr, mean ± SD)	65.4 ± 10.8	65.3 ± 10.8	56.0 ± 12.7	63.0 ± 11.8	
AXL (mm, mean ± SD)	22.04 ± 0.46	23.42 ± 0.53	27.80 ± 0.51	24.22 ± 0.36	
MNE (D, mean ± SD)					
Haigis	+0.01 ± 0.57	-0.18 ± 0.58	-0.61 ± 0.59	-0.24 ± 0.60	0.001*
SRK/T	-0.09 ± 0.48	-0.09 ± 0.46	-0.61 ± 0.56	-0.18 ± 0.54	0.001
Hoffer Q	-0.09 ± 0.50	-0.20 ± 0.50	-0.97 ± 0.76	-0.32 ± 0.65	0.000
Holladay 1	-0.04 ± 0.46	-0.15 ± 0.47	-0.87 ± 0.73	-0.27 ± 0.61	0.000
p-value†	0.460	0.364	0.075	0.312	
MAE (D, mean ± SD)					
Haigis	0.44 ± 0.36	0.45 ± 0.39	0.66 ± 0.54	0.49 ± 0.42	0.037‡
SRK/T	0.41 ± 0.28	0.38 ± 0.27	0.63 ± 0.53	0.44 ± 0.36	0.005
Hoffer Q	0.39 ± 0.31	0.41 ± 0.35	0.99 ± 0.74	0.52 ± 0.50	0.000
Holladay 1	0.36 ± 0.28	0.38 ± 0.30	0.90 ± 0.67	0.48 ± 0.45	0.000
p-value‡	0.474	0.386	0.073	0.463	

MNE = mean numeric error = the predicted postoperative diopter - actual postoperative diopter.

MAE = mean absolute error = the mean absolute value of the numeric error.

*1-Way ANOVA test; Group AXL I vs Group AXL II: $p = 0.170$; Group AXL I vs Group AXL III: $p = 0.001$; Group AXL II vs Group AXL III: $p = 0.001$; †Kruskal-Wallis test; ‡1-Way ANOVA test; Group AXL I vs Group AXL II: $p = 0.680$; Group AXL I vs Group AXL III: $p = 0.042$; Group AXL II vs Group AXL III: $p = 0.028$.

SPSS 12.0 version을 이용하였으며, p 값의 유의수준은 0.05 미만으로 하였다.

결 과

총 98명 137안(남자 64안, 여자 73안)을 대상으로 하였고, 평균 연령은 63.0 ± 11.8 세였다. IOL Master®로 측정된 평균 안구 길이는 24.22 ± 2.36 mm였고, 평균 전방 깊이는 3.14 ± 0.46 mm였다.

안구 길이에 따라 분류한 AXL I군은 총 19안이 포함되었으며 평균 안구 길이는 22.04 ± 0.46 mm였고, AXL II군은 총 90안이었으며 평균 안구 길이는 23.42 ± 0.53 mm였고, AXL III군은 28안이었고 평균 안구 길이는 27.80 ± 2.51 mm였다(Table 1). 평균 실제오차 및 평균 절대오차는 3군 모두에서 각 공식들 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없

었다($p>0.05$).

전방 깊이에 따라 분류한 ACD I군은 총 12안이 포함되었으며 평균 전방 깊이는 2.25 ± 0.27 mm였고, ACD II군은 총 99안이었으며 평균 전방 깊이는 3.18 ± 0.28 mm였고, ACD III군은 26안이었고 평균 전방 깊이는 3.82 ± 0.46 mm였다(Table 2). 전방 깊이가 얇은 ACD I군에서 평균 절대오차는 각 공식 별로 Haigis는 0.60 ± 0.36 D, SRK/T는 0.37 ± 0.27 D, Hoffer Q는 0.49 ± 0.32 D, Holladay 1은 0.39 ± 0.29 D였고, 각 공식들 사이의 차이는 통계적으로 유의하였다($p=0.021$). 평균 실제오차는 Haigis는 -0.41 ± 0.60 D, SRK/T는 $+0.05 \pm 0.49$ D, Hoffer Q는 -0.09 ± 0.61 D, Holladay 1은 -0.02 ± 0.52 D였고, 각 공식들 사이의 차이는 통계적으로 유의하였고($p=0.030$), Haigis 공식이 다른 공식보다 큰 원시 편위를 보였다. 전방 깊이가 깊은 ACD III군에서는 평균 절대오차는 각 공식들 사이에 통

Table 2. Characteristics of each group according to anterior chamber depth (ACD)

Group (ACD, mm)	ACD I (< 2.5)	ACD II (≥ 2.5 , < 3.5)	ACD III (3.5 \leq)	Total	p -value [‡]
Eyes	12	99	26	137	
Age (yr, mean \pm SD)	60.3 \pm 10.2	65.4 \pm 11.4	55.2 \pm 11.1	63.0 \pm 11.8	
ACD (mm, mean \pm SD)	2.25 \pm 0.27	3.18 \pm 0.28	3.82 \pm 0.46	3.14 \pm 0.46	
MNE (D, mean \pm SD)					
Haigis	-0.41 \pm 0.60	-0.19 \pm 0.58	-0.35 \pm 0.67	-0.24 \pm 0.60	0.279
SRK/T	+0.05 \pm 0.49	-0.14 \pm 0.53	-0.44 \pm 0.53	-0.18 \pm 0.54	0.010
Hoffer Q	-0.09 \pm 0.61	-0.24 \pm 0.61	-0.69 \pm 0.68	-0.32 \pm 0.65	0.003
Holladay 1	-0.02 \pm 0.52	-0.21 \pm 0.58	-0.60 \pm 0.64	-0.27 \pm 0.61	0.005
p -value [†]	0.030	0.446	0.144 [‡]	0.312	
MAE (D, mean \pm SD)					
Haigis	0.60 \pm 0.36	0.46 \pm 0.42	0.57 \pm 0.45	0.49 \pm 0.42	0.318
SRK/T	0.37 \pm 0.27	0.43 \pm 0.34	0.49 \pm 0.44	0.44 \pm 0.36	0.652
Hoffer Q	0.49 \pm 0.32	0.47 \pm 0.47	0.73 \pm 0.64	0.52 \pm 0.50	0.061
Holladay 1	0.39 \pm 0.29	0.45 \pm 0.43	0.65 \pm 0.56	0.48 \pm 0.45	0.096
p -value [†]	0.021	0.493	0.196	0.463	

MNE = mean numeric error = the predicted postoperative diopter - actual postoperative diopter.

MAE = mean absolute error = the mean absolute value of the numeric error.

[†]Kruskal-Wallis test; [‡]1-Way ANOVA test.

Table 3. Comparison of anterior chamber depth (ACD) measurement obtained with IOL Master® and Pentacam

Group*	IOL Master® (mm, mean \pm SD)	Pentacam (mm, mean \pm SD)	ACD difference [†] (mm, mean \pm SD)	95% LoA [‡] (mm, mean \pm SD)	P -value [§]
AXL I	2.92 \pm 0.30	2.84 \pm 0.37	0.07 \pm 0.15	0.01 to 0.14	0.138
AXL II	3.10 \pm 0.48	3.12 \pm 0.42	-0.02 \pm 0.55	-0.14 to 0.08	0.641
AXL III	3.44 \pm 0.28	3.38 \pm 0.25	0.06 \pm 0.11	0.01 to 0.11	0.108
ACD I	2.26 \pm 0.19	2.93 \pm 0.60	-0.67 \pm 0.69	-1.11 to -0.23	0.006
ACD II	3.10 \pm 0.26	3.06 \pm 0.32	0.03 \pm 0.23	-0.01 to 0.08	0.121
ACD III	3.73 \pm 0.35	3.52 \pm 0.43	0.21 \pm 0.68	-0.06 to 0.49	0.134
Total	3.14 \pm 0.46	3.13 \pm 0.41	0.01 \pm 0.45	-0.07 to 0.08	0.874

*Group AXL I: axial length < 22.5 mm, Group AXL II: $22.5 \leq$ axial length < 24.5 mm, Group AXL III: $24.5 \text{ mm} \leq$ axial length, Group ACD I: anterior chamber depth < 2.5 mm, Group ACD II: $2.5 \leq$ anterior chamber depth < 3.5 mm, Group ACD III: $3.5 \text{ mm} \leq$ anterior chamber depth; [†]ACD difference = anterior chamber depth measured by IOL Master® - anterior chamber depth measured by Pentacam; [‡]LoA = limit of agreement; [§]paired t -test.

계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았고($p=0.196$), 평균 실제오차는 Haigis는 $-0.35 \pm 0.67D$, SRK/T는 $-0.44 \pm 0.53D$, Hoffer Q는 $-0.69 \pm 0.68D$, Holladay 1은 $-0.60 \pm 0.64D$ 로 공식들 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나($p=0.144$), Haigis 공식이 다른 공식들에 비해 원시로의 편위가 작았다.

IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이와 Pentacam으로 측정한 전방 깊이의 차이가 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 paired *t*-test를 사용하였다(Table 3). 전체 환자에서 술 전 IOL Master[®]로 측정한 평균 전방 깊이는 3.14 ± 0.46 mm였고, Pentacam으로 측정한 평균 전방 깊이는 3.13 ± 0.41 mm였으며, 두 측정기기 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.874$). 그러나 전방 깊이가 얇은 ACD I군에서는 두 측정기기로 측정한 전방 깊이의 차이가 통계적으로 유의하였는데($p=0.006$), IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이는 2.26 ± 0.19 mm, Pentacam으로 측정한 전방 깊이는 2.93 ± 0.60 mm로 IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이가 Pentacam으로 측정한 전방 깊이보다 작았다(ACD difference = -0.67 ± 0.69 mm). 전방 깊이가 깊은 ACD III군에서는 두 측정기기로 측정한 전방 깊이의 차이가 통계적으로 유의하지는 않았으나($p=0.134$), IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이는 3.73 ± 0.35 mm, Pentacam으로 측정한 전방 깊이는 3.52 ± 0.43 mm로 IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이가 Pentacam으로 측정한 전방 깊이보다 큰 경향성을 보였다(ACD difference = 0.21 ± 0.68 mm).

고 찰

IOL Master[®]는 안구 길이, 각막 곡률, 전방 깊이 등의 생체계측을 정확하게 측정할 수 있으며, 다양한 종류의 인공수정체 도수계산공식을 내장하고 있어, 정확한 인공수정체 도수계산을 가능하게 한다. 특히 Haigis 공식은 IOL Master[®]에만 내장되어 있는 공식으로 1999년 Wolfgang Haigis에 의해 소개되었다.⁹ Haigis 공식은 SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 등의 공식들과 마찬가지로 얇은 렌즈 광학(thin lens optics)에 기초한다. 얇은 렌즈 광학에서 각막과 수정체는 2개의 굴절력을 가지는 얇은 렌즈로 치환되고, 이 사이의 거리는 효과적인 렌즈 위치(effective lens position, ELP)로 표현되며, 또한 인공수정체안 전방 깊이(pseudo-phakic anterior chamber depth)로도 표현된다.¹⁰ Holladay et al¹¹은 Fyodorov에 의해 각막 높이로 사용된 각막내피에서 홍채면까지의 거리와 홍채면에서 인공수정체까지의 거리를 합하여 전방 깊이를 계산하였고, 이를 술자 인자(surgeon factor, SF)로 불렀다. Retzlaff et al¹²은 SRK/T

공식을 소개했는데, Holladay 공식과 비슷하나 인공수정체안 전방 깊이에 있어 각막의 반경, 안구 길이와 A상수로부터 산출한 전방상수로부터 전방 깊이의 보정치를 계산하고 망막의 두께 교정 인자(retinal thickness correction factor)를 보정해 준 점이 다르다. Hoffer Q 공식은 Hoffer¹³에 의해 1992년에 발표되었는데, 전방 깊이를 예측하는 데 있어서 Fyodorov의 각막 공식을 사용하지 않고 인공수정체 형태에 대해 개인화된 전방 깊이(personalized ACD)를 기초로 하여 기존의 Hoffer 공식과 결합시켜 인공수정체안 전방 깊이를 결정하였다. 이와 같이 Holladay 1, SRK/T, Hoffer Q 공식은 안구 길이와 각막 곡률에 따라 술 전 전방 깊이를 예측하여 술 후 인공수정체의 위치를 예측하는 반면에, Haigis 공식은 술 전 전방 깊이를 실제로 측정한 값을 사용하여 효과적인 렌즈 위치(ELP)를 결정하였고, 따라서 더 정확한 인공수정체안 전방 깊이를 얻을 수 있었고, 더 정확한 인공수정체 도수 결정이 가능하게 되었다.

Haigis 공식과 다른 인공수정체 도수계산공식을 비교한 이전의 연구들을 살펴보면, Haigis⁹는 990명을 대상으로 한 연구에서 Haigis 공식이 SRK-II, SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q 공식보다 정확하게 수술 후 굴절력을 예측하고 있다고 보고하였지만, Kim et al¹⁴은 81명을 대상으로 한 연구(평균 안구 길이: 24.13 mm)에서 술 후 굴절력 예측에 있어서 공식들 간의 유의한 차이는 없다고 보고하였다. 본 연구에서도 전체 환자(평균 안구 길이: 24.22 mm)를 대상으로는 평균 실제오차 및 평균 절대오차가 각 공식들 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

Petermeier et al¹⁵은 고도 근시 환자 32명 50안을 대상으로 한 연구(평균 안구 길이: 31.97 mm, 평균 전방 깊이: 3.67 mm)에서 Haigis 공식과 SRK/T 공식이 가장 정확하다고 보고하였고, Wang et al¹⁶은 고도 근시 환자 53명 63안을 대상으로 한 연구(평균 안구 길이: 28.06 mm)에서 Haigis 공식이 가장 정확하다고 보고했다. 본 연구에서는 근시 환자군인 AXL III군(평균 안구 길이: 27.80 mm)에서 Haigis 공식과 다른 공식 사이에 평균 실제오차 및 평균 절대오차의 차이가 통계적으로 유의하지는 않았지만, 평균 절대오차는 Haigis 공식($0.66 \pm 0.54D$)이 SRK/T 공식($0.63 \pm 0.53D$)과 함께 다른 인공수정체 도수계산공식들(Hoffer Q: $0.99 \pm 0.74D$, Holladay 1: $0.90 \pm 0.67D$)보다 오차가 작은 경향성을 보였다.

Bai et al¹⁷은 고도 원시 환자 31안을 대상으로 한 연구에서 IOL Master[®]로 생체계측을 측정하였을 때 Haigis 공식이 가장 정확하고, 술 후 굴절력이 다른 공식들은 원시 편위를 보인 반면에 Haigis 공식은 약간 근시 편위($0.37 \pm 0.14D$)를 보인다고 보고하였다. MacLaren et al¹⁸은 고도

원시 환자 56명 76안을 대상으로 한 연구(평균 안구 길이: 20.79 mm, 평균 전방 깊이: 2.66 mm)에서 마찬가지로 Haigis 공식이 가장 정확하고 술 후 근시 편위($0.51 \pm 0.12D$)를 보인다고 보고하였다. 본 연구에서는 원시 환자군인 AXL I군(평균 안구 길이: 22.04 mm)에서 Haigis 공식과 다른 공식 사이에 평균 실제오차 및 평균 절대오차는 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

앞서 말한 연구들이 전체 환자를 대상으로 하거나 안구 길이에 따라 환자 군을 분류하여 인공수정체 도수계산공식의 정확성을 알아보았으나, 본 연구에서와 같이 전방 깊이에 따라 환자 군을 분류하여 공식의 정확성을 알아본 연구는 없었다. 전방 깊이에 따라 환자를 분류하였을 때, 전방 깊이가 얇은 ACD I군에서는 Haigis 공식이 다른 인공수정체 도수계산공식과 달리 술 후 1개월째 예상 굴절력보다 원시를 보였고, 전방 깊이가 깊은 ACD III군에서는 Haigis 공식이 다른 인공수정체 도수계산공식보다 술 후 1개월째 원시를 보이는 정도가 작은 경향성을 보였다. 이것은 Haigis 공식이 안구 길이뿐 아니라 전방 깊이에도 영향을 받음을 보여주는 것이고, 따라서 전방 깊이의 정확한 측정이 Haigis 공식의 정확성에 필수적임을 알 수 있다.

전방 깊이는 측정 기구에 따라 큰 차이가 없음은 이미 여러 연구에서 보고되어 있으나,¹⁹⁻²³ 전방 깊이에 따라 분류하여 측정 기구에 따른 차이를 알아본 연구는 없었다. 본 연구에서도 전체 환자를 대상으로 전방 깊이를 비교했을 경우에는 측정 기구에 따른 차이를 보이지 않았으나, 전방 깊이에 따라 분류하여 측정 기구에 따른 차이를 알아보았을 때, 전방 깊이가 얇은 ACD I군에서는 측정 기구에 따른 차이가 통계적으로 유의하였는데, IOL Master[®]로 측정된 전방 깊이가 Pentacam으로 측정된 전방 깊이보다 작았다. 따라서 술 후 효과적인 렌즈 위치(ELP)가 보다 앞쪽에 있는 것으로 Haigis 공식에 잘못 적용되고, 예측 굴절력이 다른 인공수정체 도수계산공식들보다 음의 값을 가지게 되고, 예측 굴절력을 정시로 하였을 때 술 후 굴절력이 원시를 보이게 되는 원인이 된다. 또한 전방 깊이가 깊은 ACD III군에서는 IOL Master[®]로 측정된 전방 깊이가 Pentacam으로 측정된 전방 깊이보다 더 큰 경향성을 보였다. 따라서 술 후 효과적인 렌즈 위치(ELP)가 보다 뒤쪽에 있는 것으로 Haigis 공식에 잘못 적용되고, 예측 굴절력이 다른 인공수정체 도수계산공식들보다 양의 값을 가지게 되고, 예측 굴절력을 정시로 하였을 때 다른 공식들보다 술 후 굴절력이 원시를 나타내는 경향이 더 작게 되는 원인이 된다. 이와 같이 각막 곡률과 안구 길이로 인공수정체안 전방 깊이(pseudophakic ACD)를 예측하는 다른 공식들과 달리 Haigis 공식에서는 IOL Master[®]로 측정된 전방 깊이를 이

용하여 인공수정체안 전방 깊이를 예측하기 때문에 술 전 측정된 전방 깊이가 부정확할 경우 술 후 굴절력의 예측이 정확하지 못하게 된다.

전방 깊이가 작은 ACD I군에서 술 전 IOL Master[®]로 측정한 전방 깊이가 Pentacam으로 측정한 전방 깊이와 0.5 mm 이상 작게 측정된 12안 중 7안의 술 전 특이사항에 대해 살펴보면 포도막염으로 인하여 홍채후유착(posterior synechiae)이 있었던 경우가 2안이 있었고, 유리체절제술을 받았던 경우가 2안이 있었으며, 연령이 50세 이하인 경우가 1안이 있었다. 하지만 이러한 특이사항은 ACD I군의 환자들에서만 발견된 사항은 아니어서, 이것이 전방 깊이의 측정 오류에 영향을 미쳤을지는 더 고려해 보아야 할 사항이다. 조절과 관련한 수정체의 전방 이동(accommodation related anterior movement of the lens position)으로 인하여 IOL Master[®]로 측정된 전방 깊이가 짧게 측정될 수 있으며,²⁴ IOL Master[®]는 시축(visual axis)을 따라 측정되고 Pentacam은 광학축(optical axis)을 따라 측정되기 때문에 두 축의 차이가 평균 5도 정도 차이가 나서 IOL Master[®]로 측정된 전방 깊이가 짧게 측정될 수 있다.²³

결론적으로, 안구 길이에 따른 Haigis 공식의 정확성은 다른 인공수정체 도수계산공식들과 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, 전방 깊이에 따른 Haigis 공식의 정확성은 전방 깊이가 작을 때 통계적으로 유의하게 부정확한 것으로 나타났다. Haigis 공식은 술 전 측정된 전방 깊이가 인공수정체안 전방 깊이 결정에 사용되므로 보다 더 정확한 전방 깊이의 측정을 요구한다. 따라서 Haigis 공식의 예측 값이 다른 인공수정체 도수계산공식의 예측 값과 차이가 크면, 전방 깊이 측정 오류로 발생한 차이의 가능성을 감안하여 다른 측정 기구를 이용하여 전방 깊이를 재측정하여 이를 확인하거나, 인공수정체 결정에 다른 공식을 함께 고려하여 신중하게 선택해야 한다.

참고문헌

- 1) Holladay JT, Prager TC, Ruiz RS, et al. Improving the predictability of intraocular lens power calculations. Arch Ophthalmol 1986;104:539-41.
- 2) Vogel A, Dick HB, Krummenauer F. Reproducibility of optical biometry using partial coherence interferometry: intraobserver and interobserver reliability. J Cataract Refract Surg 2001;27:1961-8.
- 3) Kiss B, Findl O, Menapace R, et al. Biometry of cataractous eyes using partial coherence interferometry: clinical feasibility study of a commercial prototype I. J Cataract Refract Surg 2002;28:224-9.
- 4) Lam AK, Chan R, Pang PC. The repeatability and accuracy of axial length and anterior chamber depth measurements from the IOLMaster. Ophthalmic Physiol Opt 2001;21:477-83.
- 5) Kielhorn I, Rajan MS, Tesha PM, et al. Clinical assessment of the

- Zeiss IOLMaster. J Cataract Refract Surg 2003;29:518-22.
- 6) Chang SW, Yu CY, Chen DP. Comparison of intraocular lens power calculation by the IOLMaster in phakic and eyes with hydrophobic acrylic lenses. Ophthalmology 2009;116:1336-42.
- 7) Lim LH, Lee SY, Ang CL. Factors affecting the predictability of SRK II in patients with normal axial length undergoing phacemulsification surgery. Singapore Med J 2009;50:120-5.
- 8) Maeng HS, Ryu EH, Chung TY, Chung ES. Effects of anterior chamber depth and axial length on refractive error after intraocular lens implantation. J Korean Ophthalmol Soc 2010;51:195-202.
- 9) Haigis W. Intraocular lens power calculations. Thorofare NJ, USA: Slack Inc, 2003;41-57.
- 10) Holladay JT, Prager TC. Accurate ultrasonic biometry in pseudophakia. Am J Ophthalmol 1989;107:189-90.
- 11) Holladay JT, Prager TC, Chandler TY, et al. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg 1988;14:17-24.
- 12) Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. J Cataract Refract Surg 1990;16:333-40.
- 13) Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. J Cataract Refract Surg 1993;19:700-12.
- 14) Kim DY, Kim MJ, Kim JY, Tchah H. Comparison of formulas for intraocular lens power calculation installed in a partial coherence interferometer. J Korean Ophthalmol Soc 2009;50:523-8.
- 15) Petermeier K, Gekeler F, Messias A, et al. Intraocular lens power calculation and optimized constants for highly myopic eyes. J Cataract Refract Surg 2009;35:1575-81.
- 16) Wang JK, Hu CY, Chang SW. Intraocular lens power calculation using the IOLMaster and various formulas in eyes with long axial length. J Cataract Refract Surg 2008;34:262-7.
- 17) Bai L, Zhang ZP, Yi GL, et al. [Selection of accurate IOL formula in patients with cataract and high hyperopia]. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2008;44:1063-5.
- 18) MacLaren RE, Natkunarajah M, Riaz Y, et al. Biometry and formula accuracy with intraocular lenses used for cataract surgery in extreme hyperopia. Am J Ophthalmol 2007;143:920-31.
- 19) Savant V, Chavan R, Pushpoth S, Ilango B. Comparability and intra-/interobserver reliability of anterior chamber depth measurements with the Pentacam and IOLMaster. J Refract Surg 2008;24:615-8.
- 20) Reddy AR, Pande MV, Finn P, El-Gogary H. Comparative estimation of anterior chamber depth by ultrasonography, Orbscan II, and IOLMaster. J Cataract Refract Surg 2004;30:1268-71.
- 21) Rabsilber TM, Becker KA, Frisch IB, Auffarth GU. Anterior chamber depth in relation to refractive status measured with the Orbscan II Topography System. J Cataract Refract Surg 2003;29:2115-21.
- 22) Lackner B, Schmidinger G, Skorpik C. Validity and repeatability of anterior chamber depth measurements with Pentacam and Orbscan. Optom Vis Sci 2005;82:858-61.
- 23) Su PF, Lo AY, Hu CY, Chang SW. Anterior chamber depth measurement in phakic and pseudophakic eyes. Optom Vis Sci 2008;85:1193-200.
- 24) Sheng H, Bottjer CA, Bullimore MA. Ocular component measurement using the Zeiss IOLMaster. Optom Vis Sci 2004;81:27-34.

=ABSTRACT=

Accuracy of the Haigis Formula Based on Axial Length and Anterior Chamber Depth

Chan-Hui Yi, MD, Sung-Ho Choi, MD, Eui-Sang Chung, MD, PhD, Tae-Young Chung, MD, PhD

Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the effect of axial length (AXL) and anterior chamber depth (ACD) on the accuracy of the Haigis formula in comparison to its effect on other 3rd generation IOL power calculations. The possibility of measurement error in ACD using either method was also investigated.

Methods: A study was performed on 137 eyes of 98 patients who underwent cataract surgery in our hospital. AXL and ACD were measured using IOL Master, and IOL power was calculated using the Haigis, SRK/T, Hoffer Q, and Holladay 1 formulas. ACD was also measured using Pentacam. Patients were divided into 3 groups based on ACD and AXL. Mean numeric error and mean absolute error were analyzed 1 month after surgery.

Results: Five formulae showed no significant difference in refractive error in the 3 groups based on AXL. In contrast, the Haigis formula showed statistically significant differences in the group with shallow ACD, in which hyperopic shift was also demonstrated. The difference in ACD between using IOL Master and using Pentacam was significant in the shallow ACD group, with IOL Master showing more shallow measurement. However, the other groups based on ACD showed no significant difference in the refractive error from the Haigis formula, and in the difference in ACD between measurements.

Conclusions: Errors in ACD measurement should be taken into consideration for discrepancy between the Haigis formula measurement and other formula measurements. The authors of the present study suggest that ACD-driven refractive error should be considered in determination of IOL.

J Korean Ophthalmol Soc 2011;52(2):175-181

Key Words: Anterior chamber depth, Axial length, Haigis formula, Intraocular lens power calculation

Address reprint requests to **Tae-Young Chung, MD, PhD**

Department of Ophthalmology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine

#50 Irwon-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea

Tel: 82-2-3410-3563, Fax: 82-2-3410-0074, E-mail: tychung@skku.edu